

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-248043

(43)Date of publication of application : 27.09.1996

(51)Int.Cl.

G01N 37/00

G02B 21/00

(21)Application number : 07-047506

(71)Applicant : NIKON CORP

(22)Date of filing : 07.03.1995

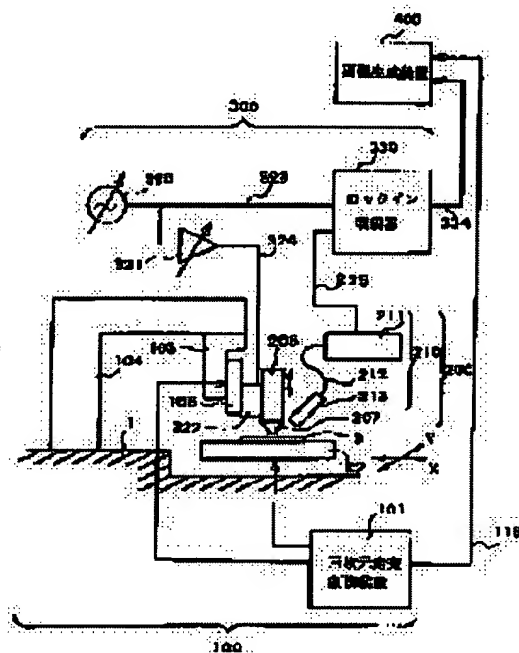
(72)Inventor : OSAWA HISAO

(54) SCANNING PROXIMITY FIELD OPTICAL MICROSCOPE

(57)Abstract:

PURPOSE: To obtain a scanning proximity field optical microscope in which the contrast of image can be enhanced even with a weak light.

CONSTITUTION: As a stage 102 is moved, a light source 205 and an opening 207 are oscillated with respect to an object 3 in a plane (horizontal plane) extending in parallel with the surface of the object 3. Reflected light is captured by a probe 213 and introduced on an optical guide 212 to a photoelectric converter 211 where it is converted into a detection signal 225. With reference to an exciting signal 323, the detection signal 225 is detected synchronously by means of a lock-in amplifier 330 which produces an output signal 334 representative of a component synchronized with the variation in the intensity of reflected light from the surface of the object 3. The output signal 334 is presented on a display along with a scanning position signal 115 of the stage 102 indicative of the position on the surface of the object 3.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

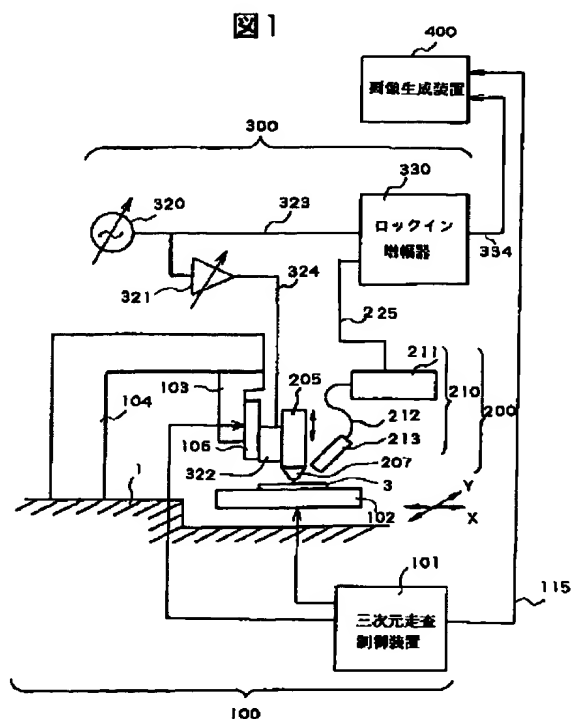
[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C): 1998,2003 Japan Patent Office

(11)特許出願公開番号

(43)公開日 平成8年(1996)9月27日



【特許請求の範囲】

【請求項1】被測定物の表面を三次元的に走査して、被測定物から放射される光を検出し、この検出した信号と走査位置とに基づいて被測定物表面の光学的性質を画像化する走査型近接場光学顕微鏡において、

照明光を放射する光源と、

この光源から放射される照明光の波長より小さい直径を有し、検査すべき被測定物の表面に近接される開口と、前記照明光の照射に基づいて被測定物から放射される光を受光して電気信号に変換して検出信号を出力する光検出器と、

前記開口を前記被測定物の表面に対し相対的に走査するための三次元走査機構と、

前記開口を前記被測定物の被測定表面に平行な面内で振動させるための加振機構と、

前記光検出器からの検出信号のうち、前記振動と同一の周波数成分からなる同期信号成分を取り出して、出力する信号処理装置とを備えることを特徴とする走査型近接場光学顕微鏡。

【請求項2】請求項1において、光検出器は、前記測定物により光学的作用を受けて放射される前記照明光を受光するものであり、

光学的作用は、透過、反射および散乱のうち少なくとも1の作用である走査型近接場光学顕微鏡。

【請求項3】請求項1において、光検出器は、照明光に照射された前記測定物の発光による放射光を受光するものである走査型近接場光学顕微鏡。

【請求項4】請求項1において、加振機構は、開口を振動させるための振動子と、振動子を励振するための励振信号を出力するオシレータとを有する走査型近接場光学顕微鏡。

【請求項5】請求項4において、オシレータは、周波数可変である走査型近接場光学顕微鏡。

【請求項6】請求項4において、信号処理装置は、ロックイン増幅器で構成される走査型近接場光学顕微鏡。

【請求項7】請求項6において、ロックイン増幅器は、前記光検出器からの検出信号とオシレータから出力される励振信号との積を求める乗算器と、両者の積から振動成分を除去する低域通過フィルタとを有する走査型近接場光学顕微鏡。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、走査型近接場光学顕微鏡に関するものである。

【0002】

【従来の技術】近年、生物学、半導体デバイス開発、表面分析など広い分野において、非接触、非破壊の高分解能顕微鏡の重要性が高まっている。従来使用されてきた光学顕微鏡は、非接触、非破壊という面では優れた特性

を持っていた。しかし、結像光学系を用いるという原理上、回折限界による分解能の制限のため、使用範囲が限られてきた。

【0003】これらの問題を解決すべく、走査型電子顕微鏡、透過電子顕微鏡、走査型トンネル顕微鏡、走査型近接場光学顕微鏡（光学近接場走査型顕微鏡、フォトン走査型トンネル顕微鏡等とも呼ばれる）等が開発された。しかし、試料表面の光学的な性質を高い分解能で得ようとした場合には、これらの顕微鏡の中で、走査型近接場光学顕微鏡が唯一の手段である。

【0004】この種の走査型近接場光学顕微鏡としては、特開昭59-121310号公報等が知られている。この走査型近接場光学顕微鏡の基本原理は、被測定物を照射すべく光源から放射された照明光の波長より小さい開口によって被測定物の表面を走査し、表面形状、表面の光学的性質等を測定するものである。開口を被測定物から開口径よりも短い距離において走査することから、走査型近接場光学顕微鏡と呼ばれている。

【0005】波長の理論からすれば、通常の光学顕微鏡の分解能は、 $\lambda/2$ 程度で制約されるため、可視光領域では200～300nmが限度とされている。しかし、上述したような、波長より小さい微小な開口に光を導くと、通常の光の様に自由空間を広がることはできないが、開口付近にしみだす光電場が存在する。この光電場は消滅波（エバネセント波）と呼ばれるもので、これで測定表面を照射することで、高分解能な光学的測定を可能にしている。

【0006】図2は、このような走査型近接場光学顕微鏡の従来例（上記特開昭59-121310号公報）を示すものである。これを概略説明する。1は基台で、この基台1は図示しない除振装置によって外部振動を受けない構造とされる。基台1上にステージ2が配設されている。このステージ2は、図示しない駆動装置によってX、Y方向にそれぞれ独立に移動制御されるように構成される。ステージ2の上面には、被測定物3が配置される。前記基台1上に設置された支柱4に、垂直調整装置6を有する先端アーム部4Aが取り付けられる。この垂直調整装置6を介して光源5が先端アーム部4Aに取り付けられる。この光源5の先端に、開口7が設けられる。開口7近傍に、被測定物3から反射される反射光を取り込むためのプローブ13が設けられる。プローブ13で取り込まれた反射光は、光ガイド10を介して光電検出器11に送られる。ここで、開口7は、検査される物体を照射するのに用いられる光の波長に比較して小さな直径をもつものである。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】ところで、一般的に、走査型近接場光学顕微鏡では、受光できる光強度が非常に弱い。そのため、得られる画像のコントラストが従来の光学顕微鏡に比べて低いという問題がある。

【0008】本発明は、上述したような従来の問題点に鑑みてなされたもので、その目的とするところは、微弱な光強度であっても画像のコントラストを向上させ、測定精度を上げることを可能にした走査型近接場光学顕微鏡を提供することにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明は上記目的を達成するために、被測定物の表面を三次元的に走査して、被測定物から放射される光を検出し、この検出した信号と走査位置とに基づいて被測定物表面の光学的性質を画像化する走査型近接場光学顕微鏡において、照明光を放射する光源と、この光源から放射される照明光の波長より小さい直径を有し、検査すべき被測定物の表面に近接される開口と、前記照明光の照射に基づいて被測定物から放射される光を受光して電気信号に変換して検出信号を出力する光検出器と、前記開口を前記被測定物の表面に対し相対的に走査するための三次元走査機構と、前記開口を前記被測定物の被測定表面に平行な面内で振動させるための加振機構と、前記光検出器からの検出信号のうち、前記振動と同一の周波数成分からなる同期信号成分を取り出して、出力する信号処理装置とを備えることを特徴とする走査型近接場光学顕微鏡が提供される。

【0010】光検出器は、前記測定物により光学的作用を受けて放射される前記照明光を受光するもので構成することができる。この場合、光学的作用は、透過、反射および散乱のうち少なくとも1の作用であることができる。

【0011】また、光検出器は、照明光に照射された前記測定物の発光による放射光を受光するものとすることができる。

【0012】加振機構は、開口を振動させるための振動子と、振動子を励振するための励振信号を出力するオシレータとを有する構成とすることができる。オシレータは、例えば、周波数可変のものを用いることができる。

【0013】信号処理装置は、ロックイン増幅器で構成されることができる。ロックイン増幅器は、例えば、前記光検出器からの検出信号とオシレータから出力される励振信号との積を求める乗算器と、両者の積から振動成分を除去する低域通過フィルタとを有することができる。

数 2

$$S_{in} = S(X_c) + \frac{\partial S}{\partial X} (X=X_c) X_o \sin \omega t + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 S}{\partial X^2} (X=X_c) X_o^2 \sin^2 \omega t + \dots$$

【0021】これに、 $\sin(\omega t + \phi)$ を乗じて、カットオフ周波数 f_c 以上の周波数成分を無視して、その出力を計算する。

【0022】ここで、2次以上が無視できるとして、さ

【0014】

【作用】本発明では、加振機構により開口を試料表面に平行な面内で振動させて、照明光の試料照射位置を振動させている。それに伴って、光検出器で検出された検出信号にも、試料表面に平行な面内で振動する成分と同一の周波数成分を含むことになる。信号処理装置は、検出信号から、開口の振動と同一の周波数成分を取り出す。この成分と、三次元走査機構から得られる走査位置信号とを用いて、被測定物表面の光学的性質について画像化が行なえる。

【0015】ところで、本発明の走査型近接場光学顕微鏡では、上述したように、観測したい光が微弱であるので、画像コントラスト増強を目的としてX方向またはY方向の微分画像を得る。このため、本発明では、開口を資料面と平行な面内で振動させる。この振動によって、この振動によって試料表面上での観測点が振動している。その結果、観測しようとしている物理量、例えば、透過光を検出していれば局所的な透過率、また、反射光を検出していれば局所的な反射率そのものが変化する。

【0016】ここで、開口を位置 X_c を中心として振幅 X_o 、周波数 f で振動させるとすると、このとき、検出器から出力される検出信号 S_{in} は、形式的に、

【0017】

【数1】

数 1

$$S_{in} = S(X_c + X_o \sin \omega t)$$

【0018】と書けるはずである。なお、ノイズ、バックグラウンド等は、最終的には消えてしまうので省略してある。すなわち、ノイズは、不規則なもので、自己相関性がないので、このような不規則な雑音の平均値は観測する周波数帯域の平方根に比例する。そこで、観測する周波数帯域を狭くしてやれば、相対的にノイズ成分は、小さくなり、除去される。

【0019】上記を、 X_o が小さいとして、 X_c のまわりで展開すると、

【0020】

【数2】

らに正弦波を乗じると、次式が得られる。

【0023】

【数3】

5
数 3

6

$$\begin{aligned}
 S_{in} \sin(\omega t + \phi) &= S(X_c) \sin(\omega t + \phi) \\
 &+ \frac{\partial S}{\partial X} (X=X_c) X_o \sin \omega t \sin(\omega t + \phi) \\
 &= S(X_c) \sin(\omega t + \phi) \\
 &+ \frac{\partial S}{\partial X} (X=X_c) X_o \left\{ \frac{1 - \cos 2\omega t}{2} \cos \phi \right. \\
 &\quad \left. + \frac{\sin^2 \omega t}{2} \sin \phi \right\}
 \end{aligned}$$

【0024】カットオフ周波数 f_c の低域透過フィルターを通すと、カットオフ周波数 f_c が ω に比べて充分低いならば、出力信号 S_{out} のうち振動項は減衰してしまい、次式が得られる。

【0025】

【数4】

数 4

$$S_{out} = \frac{1}{2} \frac{\partial S}{\partial X} (X=X_c) X_o \cos \phi$$

【0026】従って、高さ X_c における信号強度（すなわち、透過率分布あるいは反射率分布）の微分値が得られる。

【0027】このように、信号処理装置は、検出信号から、開口に加えられた振動と同一の周波数成分のみ取りだすことで、微弱光についての微分値が得られる。従って、画像のコントラストを向上させることができる。

【0028】

【実施例】以下、本発明の実施例について説明する。

【0029】図1は本発明に係る走査型近接場光学顕微鏡の一実施例を示す概略構成図である。図1に示す顕微鏡は、基台1と、被測定物3を支持すると共に、被測定物3の表面を三次元的に走査するための三次元走査機構100と、被測定物3の表面の光学的状態を検出するための検出系200と、検出系200で検出する信号の処理を行なう信号処理系300と、信号処理系300で得られた検出信号と三次元走査機構100から得られる走査位置信号とに基づいて被測定物表面の光学的性質を画像化する画像生成装置400とを備える。

【0030】検出系200は、照明光を放射する光源205と、この光源205から放射される照明光を被測定物上に放射させる開口7と、前記照明光の照射に基づいて被測定物3から放射される光を受光して電気信号に変換して検出信号225を出力する光検出器210とを有する。

【0031】開口207は、光源205から放射される波長より小さい直径を有する。この開口207は、検査すべき被測定物3の表面に近接される。すなわち、開口

207から、エバネッセント波が放射される。

【0032】光検出器210は、その先端が開口207近傍に位置して、被測定物3から反射される反射光を取り込むための集光光学系で構成されるプローブ213と、プローブ213で取り込まれた反射光を伝搬するための光ガイド212と、プローブ213で取り込まれて光ガイド212を介して入射された反射光を電気信号に変換して検出信号225を出力する光電変換器211とを有する。光電変換器211は、光ガイド212を介して導かれる検出光を電気信号に変換する光電変換素子を有する。光電変換素子としては、例えば、半導体光電変換素子、光電子増倍管などが用いられる。

【0033】基台1は、図示しない除振装置によって外部振動を受けない構造とされる。この基台1上に、三次元走査機構100が置かれる。

【0034】三次元走査機構100は、基台1上に配置され、被測定物3を支持するステージ102と、基台1上に設置された支柱104と、この支柱104の先端に設けられる先端アーム部103と、先端アーム部103に取り付けられて、光源205を支持する垂直調整装置106と、ステージ102および垂直調整装置106の駆動を制御すると共に、開口207の走査位置を示す信号（走査位置信号115）を出力する三次元走査制御装置101とを有する。

【0035】ステージ102は、基台1上に、X、Y方向に移動自在に配置されると共に、図示しない駆動装置が連結されて、この駆動装置によってX、Y方向にそれぞれ独立に移動できるように構成される。この図示しない駆動装置は、三次元走査制御装置101によってその動作が制御される。ステージ102の上面に被測定物3が配置される。三次元走査制御装置101は、被測定物表面を予め定めた走査範囲内で、ステージ102をX、Y方向に移動させるように図示しない駆動装置を制御する。また、Z軸方向の変位、すなわち、被測定物の厚さ方向の変位については、垂直調整装置106を制御する。

【0036】垂直調整装置106は、図示しない駆動装置を有し、光源205を上下動させるものである。この図示しない駆動装置は、三次元走査制御装置101によ

20

30

40

50

ってその動作が制御される。

【0037】信号処理系300は、前記開口207を前記被測定物3の被測定表面に平行な面内で振動させるための振動子322と、振動子322を励振するための励振信号323を出力するオシレータ320と、オシレータ320から出力される励振信号323を増幅した励振電流324で振動子322を励振する、増幅率可変の可変増幅器321と、光電変換器211から出力される検出信号225から、オシレータ320から出力される励振信号323の周波数を同じ成分を取り出すロックイン増幅器330とを有する。ここで、オシレータ320と、可変増幅器321と、振動子322とで、開口207を振動させるための加振機構を構成する。

【0038】なお、オシレータ320は、本実施例では、周波数可変のものをを用いているが、周波数固定であってもよい。また、本実施例では、オシレータ320からの励振信号323を可変増幅器321で増幅しているが、増幅率が固定の増幅器であってもよい。オシレータ320を周波数可変のものとするにより、振動子322の振動周波数を変えることができる。また、可変増幅器321を用いることにより、振動子322の振動の振幅を変えることができる。

【0039】ロックイン増幅器330は、例えば、図3に示すように、光検出器210からの検出信号225とオシレータ320からの励振信号323との乗算を行なう乗算器331と、検出信号225と励振信号323との位相との間の位相差を調節するためのフェイズシフタ332と、乗算器331で乗算された結果である積の信号の低域成分を通過させる、カットオフ周波数 f_c の低域通過フィルタ(LPF)333とを有する。このロックイン増幅器330の動作原理については、上記した作用の欄で既に述べているので、ここでは説明を繰り返さない。

【0040】画像生成装置400は、例えば、ワークステーション等が用いられ、CPU、メモリ、表示装置等で構成される。この画像生成装置400では、ロックイン増幅器330の出力信号334と、前記三次元走査制御装置101から出力される走査位置信号115とに基づいて、被測定物表面の光学的性質を、画像化して表示する。

【0041】次に、このように構成される本発明の実施例の動作について説明する。

【0042】本実施例では、まず、三次元走査制御装置101により、被測定物3の表面を予め定めた走査範囲内で、開口207がラスタスキャンするように、ステージ102をX、Y方向に移動させるため、図示しない駆動装置を制御する。この場合、Z軸方向、すなわち、被測定物の厚さ方向は、予め一定の位置に固定しておく。なお、光検出器210の出力が一定となるように、垂直調整装置106を制御するようにしてもよい。

【0043】ステージ102の移動走査に伴って、光源205を点灯すると共に、振動子322によって、光源205および開口207を被測定物3に対し、被測定物3の表面に平行な面内(水平面内)で振動させる。この時、振動子322の駆動は、オシレータ320から出力され励振信号323を、可変増幅器321で増幅して得られる励振電流324により行われる。これにより、光源205からの光が開口207を通して放射され、被測定物3の表面の一部が、当該面内で振動する放射で照明される。この結果、反射光には、この振動と同一の周波数成分を含んだ強度変化が現れる。

【0044】反射光は、プローブ213により取り込まれ、光ガイド212で光電変換器211に導かれる。そして、光電変換器211により電気信号である検出信号225に変換される。このため、検出信号225は、振動子322の振動、すなわち、励振信号323と同一の周波数成分を含む。

【0045】次に、励振信号323を参照信号として、この検出信号225をロックイン増幅器330で同期検出することにより、被測定物3表面での反射光の強度変化の振動と同期した成分を出力信号334として取り出すことができる。ところで、これは取りも直さず、被測定物3表面に存在する光学的性質の水平方向についての微分値であるから、高いコントラストを持つ。このロックイン増幅器330の出力信号334は、ステージ102の走査位置信号115を被測定物3表面上での位置として、図示しない表示装置等の表示画面上に表示される。

【0046】このようにして、図4(a)に示す光学的反射率分布をもつ被測定物3上で開口207を走査し、光強度を検出すると、図4(b)のようになる。ここで、開口207を水平に振動させ、検出信号225の微分値を測定すると、図4(c)のように、被測定物3の反射率が一定の所、すなわち、図4(a)中の水平な所では、微分信号は0であり、反射率が変化している所で大きく正負両側に振れる。つまり、反射率が一定の部分に対しては、たとえ信号強度に高いオフセットがのっていたとしても、この部分の微分信号強度は0になるため、高いオフセットを除去することができる。また、微分信号の高さは、図4(b)のスロープ部の傾きに比例する。従って、被測定物3の光学的性質が変化する所で、その変化量ではなく、変化の急峻さに比例して大きな信号が得られることになる。

【0047】このため、光強度の信号の空間微分を検出し、これをもって画像化することによって高い画像コントラストを得ることができる。

【0048】本実施例では、被測定物3の光学的性質を持つ信号の微分値を求めるために、被測定物3の表面に平行(水平)な方向に開口207を振動させ、この振動を駆動する励振信号323を参照信号として、ロックイ

10

20

30

40

50

ン増幅器330で同期検出することを行なっている。このとき、ロックイン増幅器330から出力される信号334が微分信号となる。

【0049】本発明による被測定物の測定の実施例について、図5を参照して説明する。図5には、被測定物として、間隔200nm、反射率90%～91%のグレーティングを示す。このグレーティングについて、画像測定走査範囲を2μm×2μmとし、使用波長633nm、開口207の開口径100nm、振動子322の励振信号323の周波数900Hzおよび振幅100nmとして、測定を行なうと、観測点数が、256×256点（観測点間距離：8nm）の画像データが得られた。

【0050】以上に本発明の一実施例を示したが、本発明は、これに限定されない。例えば、次に述べるような変形が可能である。

【0051】上記実施例では、例として、反射光を検出し、反射率分布画像を得る場合を示した。しかし、透過率分布画像や、その他の光学的性質分布画像を得る場合も同様である。

【0052】また、上記実施例では、被測定物3をステージ102によって開口207に対して走査する構成としたが、これに限定されない。この走査は相対的なものであるから、開口207に粗微調整装置を取り付けて走査してもよい。

【0053】さらに、上記実施例では、光源205を支柱104に固定し、被測定物3に対し相対的に走査すべき開口207との間を光ファイバー等を用いて光学的に接続してもよい。

【0054】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、光検出器からの検出信号のうち、開口の振動と同一の周波数成分のみからなる同期信号成分を取り出し、この信号と走査制御信号とから被測定物表面を画像化することにより、画像のコントラストを向上させることができ

る。したがって、より高い測定精度を得ることもできる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例による反射型走査型近接場光学顕微鏡の構成を示す説明図。

【図2】従来の反射型走査型近接場光学顕微鏡の構成を示す説明図。

【図3】本発明の実施例で用いられるロックイン増幅器の構成の一例を示すブロック図。

10 【図4】被測定物の反射率分布と信号の微分の関係を示すグラフ。

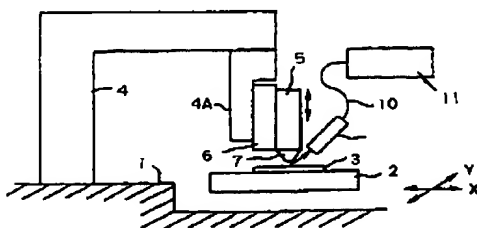
【図5】測定の実施例である被測定物の構造を模式的に示す斜視図。

【符号の説明】

1	基台
3	被測定物
100	三次元走査機構
101	三次元走査制御装置
102	ステージ
106	垂直調整装置
200	検出系
205	光源
207	開口
210	光検出器
211	光電変換器
212	光ガイド
213	プローブ
300	信号処理系
320	オシレータ
30 321	可変増幅器
322	振動子
330	ロックイン増幅器
400	画像生成装置

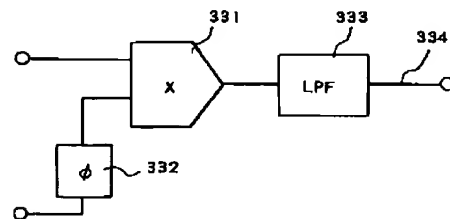
【図2】

図2

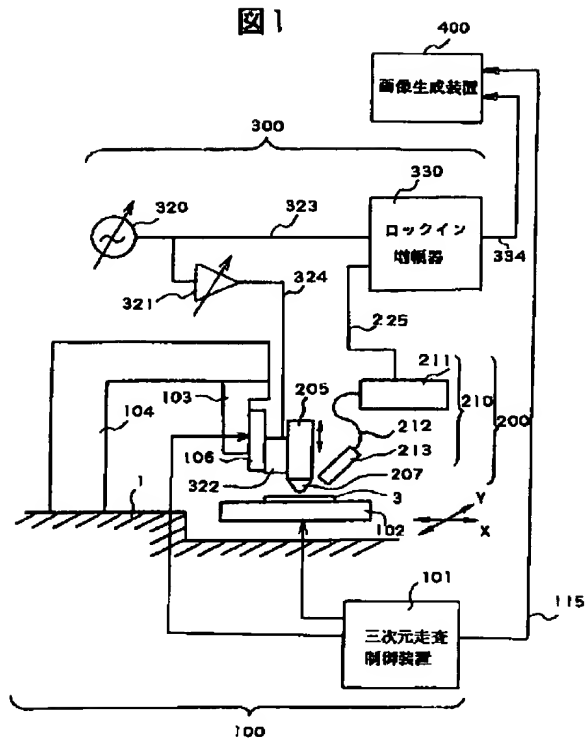


【図3】

図3

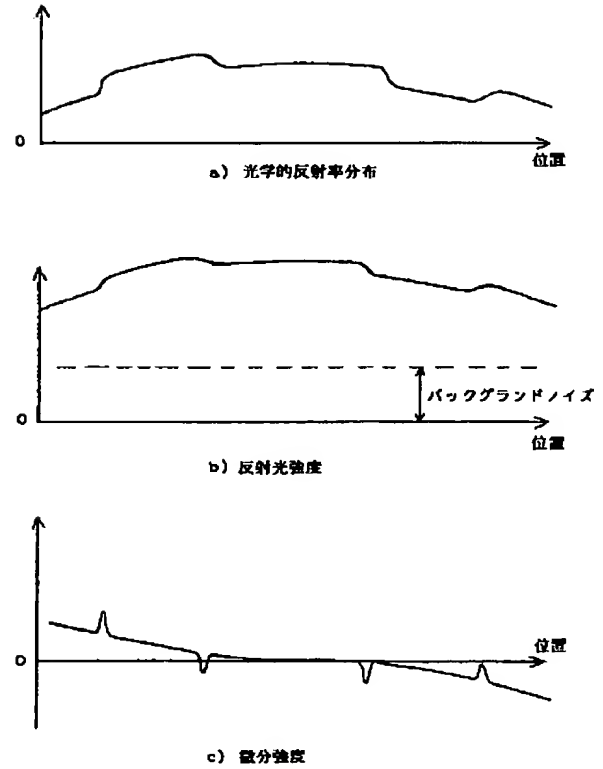


【図 1】



【図 4】

図 4



【図 5】

図 5

